



AGRICULTURES
ET DÉFIS DU MONDE
Collection Cirad-AFD


La transition agro-écologique des agricultures du Sud

F.-X. Côte, E. Poirier-Magona,
S. Perret, P. Roudier,
B. Rapidel, M.-C. Thirion,
éditeurs



éditions
Quæ

TABI multi-stakeholder meeting, Kham district, 11 mars 2016.

Ornetsmüller C., Castella J.C., Verburg P.H., 2018. A multi-scale gaming approach to understand farmer's decision-making in the boom of maize cultivation in Laos. *Ecology & Society*, 23 (2), 35, <https://doi.org/10.5751/ES-10104-230235> .

Phaipasith S., 2017. Expansion of road networks in upland production areas: Impacts on landscapes and livelihoods in Huaphan Province, rapport, Hohai University.

Tivet F., Lienhard P., Chaivanhna S., Koy R., 2017. Soil carbon is what we need! Investing in soils to sustain agriculture in South East Asia, note d'orientation, CANSEA, Vientiane, Lao PDR.

CHAPITRE 6

La transition agro-écologique des systèmes de culture de bananes Cavendish aux Antilles françaises

Jean-Michel Risède, Raphaël Achard, Pierre Brat, Christian Chabrier, Gaëlle Damour, Claire Guillermet, Luc de Lapeyre, Denis Lœillet, Steewy Lakhia, Paul Meynard, Philippe Tixier, Hoa Tran Quoc, Frédéric Salmon, François-Xavier Côte, Marc Dorel

La banane Cavendish (dite « banane dessert » par opposition aux « bananes à cuire ») est produite en Martinique et en Guadeloupe sur environ 7 000 hectares. Elle a représenté ces dernières années un volume annuel de fruits commercialisés de 320 000 tonnes (Imbert et Lœillet, 2017). Cette production est une activité majeure de l'économie antillaise, qui occupe directement plus de 6 000 personnes et représente près de 10 000 emplois indirects et induits, pour l'ensemble de la filière Banane des deux îles (étude Global Footprint). La filière s'est restructurée depuis

une dizaine d'années, après une grave crise de compétitivité qui a culminé au début des années 2000. Cela s'est notamment traduit par la création de l'UGPBAN (Union des producteurs de bananes de Guadeloupe et de Martinique) pour prendre en charge la stratégie globale de développement de la filière et de la commercialisation de sa production. Aux Antilles, cette production reste, quoi qu'il en soit, soumise à un cadre de contraintes très fort, compte tenu de la concurrence exacerbée sur le marché mondial et de ses coûts importants. Ceux-ci sont liés notamment à des prestations salariales beaucoup plus élevées que dans les autres zones de production, à une réglementation européenne exigeante en matière de normes, à des aléas climatiques (cyclones) récurrents. Les attentes sociétales sont par ailleurs fortes sur le plan de la protection de l'environnement comme de la santé, dans un contexte d'urbanisation croissante. Ce cadre impose à la filière une démarche d'innovation permanente pour améliorer sa compétitivité, mais aussi sa durabilité environnementale et sociale.

Les modes conventionnels de production de la banane Cavendish font débat du fait des dégradations physiques, chimiques et biologiques, et des pollutions non intentionnelles qu'ils peuvent occasionner dans les milieux cultivés ou naturels (Risède et Tezenas du Montcel, 1998). Hautement productive en conditions de sols ou sanitaires non limitantes, la banane Cavendish, qui représente un seul clone englobant un ensemble de cultivars proches sur le plan génétique, est en effet exigeante sur le plan de l'alimentation hydrique et minérale, et sensible à plusieurs bioagresseurs d'origine aérienne ou tellurique. Or pendant plusieurs décennies, ceux-ci ont fait l'objet d'une gestion marquée, dans beaucoup de régions du monde et y compris aux Antilles françaises, par un recours chronique aux pesticides chimiques dérivés de l'énergie fossile, auxquels s'ajoutait une fertilisation basée sur des apports d'engrais de synthèse ; ces systèmes intensifs de culture ont donc engendré des impacts environnementaux et sanitaires négatifs.

C'est ainsi qu'à partir de la fin des années 1990 et du début des années 2000, la pollution durable à la chlordécone (insecticide organochloré utilisé aux Antilles jusqu'en 1993 pour lutter contre le charançon du bananier, un insecte qui en fore le rhizome) a été révélée et fortement médiatisée, avec à la clé une crise sanitaire sans précédent à la Martinique et à la Guadeloupe (Cabidoche *et al.*, 2009). Cette pollution a eu pour effet la fixation durable de la chlordécone dans les sols et les milieux aquatiques, la contamination des populations locales et de certains produits

agricoles végétaux ou animaux. Cette crise a été déterminante dans la façon dont s'est posée, au niveau de tous les acteurs de la filière (recherche, producteurs, décideurs publics, société civile), la question des modes de production de la banane Cavendish aux Antilles françaises, milieu insulaire riche en biodiversité, où espaces agricoles et zones d'habitat se mêlent étroitement.

C'est en réponse à ce contexte économique et environnemental particulier qu'a été lancé en 2007 aux Antilles le plan « Banane durable » qui visait à améliorer conjointement la durabilité économique, environnementale et sociale des productions de bananes. L'objet de ce chapitre est de traiter de la composante environnementale de ce plan et de faire le point sur la transition agro-écologique dans les systèmes de culture antillais qui lui sont liés. On identifiera pour cela les déterminants de cette transition, les modalités techniques ou organisationnelles selon lesquelles elle s'est opérée, les pratiques attenantes qui ont été développées en milieu réel, et les cadres d'intervention multi-acteurs dans lesquels elle a pris corps. Enfin, les leçons à tirer de cette transition agro-écologique seront présentées avec un regard prospectif.

Les déterminants de la transition agro-écologique

Quatre grands types de facteurs ont pesé simultanément dans l'amorce de la transition agro-écologique des systèmes de culture de bananes Cavendish aux Antilles françaises.

Les conséquences d'une monoculture fortement intensifiée et consommatrice de pesticides

Sur la période allant de la fin des années 1980 au début des années 2000, de fortes baisses de productivité ont affecté les systèmes monocolturaux intensifs de bananes (Delvaux et *al.*, 1990 ; Dorel et Perrier, 1990). Soumis à des problèmes récurrents de dégradation de fertilité et de « fatigue » des sols, provoqués par une augmentation incontrôlée du parasitisme tellurique, ces systèmes sont progressivement devenus moins performants. Ils étaient notamment affectés par un complexe de bioagresseurs incluant des communautés plurispécifiques de nématodes endoparasites, et un

champignon du sol inducteur de nécroses racinaires dont l'importance était renforcée par les dégâts de ces nématodes phytoparasites (Risède et Simoneau, 2004). L'utilisation répétée de nématicides chimiques, appartenant à la famille des carbamates ou des organophosphorés, ne suffisait plus à enrayer les effets des perturbations hydrominérales provoquées par ces bioagresseurs telluriques, ni la verse des plants affectés par l'altération et la nécrose de leur système racinaire. De manière similaire, les dégâts dus au charançon foreur du rhizome *Cosmopolites sordidus* et les populations de ce dernier étaient de plus en plus difficilement maîtrisés. En parallèle, des résistances aux fongicides benzimidazoles utilisés dans le cadre de la lutte raisonnée contre la cercosporiose jaune des bananiers, causée par le champignon *Mycosphaerella musicola*, se développaient, réduisant la diversité des molécules fongicides utilisables pour contrôler cette maladie foliaire. Au final, c'est bien le modèle de production qui, dans son ensemble, s'essouffait dans un cadre de contraintes biologiques exacerbées, générant des pertes de rendement et des impasses techniques. La nécessité d'un changement de paradigme se faisait alors grandissante.

Une demande sociétale croissante pour des modes de production plus durables

Déjà pointé à la fin des années 1970 et au début des années 1980 (Snegaroff, 1977 ; Kermarrec, 1980), le risque de crise sanitaire et environnementale lié à la chlordécone s'est matérialisé et a fortement été médiatisé à partir de la fin des années 1990 et du début des années 2000. Ce polluant organique persistant a été détecté dans plusieurs captages d'eau potable en 1999, puis dans des tubercules alimentaires (ignames, taros...), ainsi que dans d'autres produits agricoles et dans des organismes aquatiques en 2002. Les contaminations engendrées ont marqué les esprits des populations locales, des producteurs, des pouvoirs publics et des décideurs. Une plus grande attention a *de facto* été accordée aux préoccupations environnementales et sanitaires, ce qui a notamment ouvert la voie au déploiement de solutions alternatives dans la lutte contre le charançon du bananier, et d'autre part a provoqué la mise en œuvre de mesures de réduction de l'exposition des populations à ce polluant. L'État a ainsi procédé au lancement d'une série de plans (plans nationaux d'action chlordécone) destinés à mieux connaître les milieux impactés, et à chercher comment mieux gérer le risque (ARS et Ireps, 2016).

Une recherche agronomique déjà impliquée dans le développement de systèmes de culture raisonnée

Dès la fin des années 1980, avec un renforcement dans les années 1990 et à l'orée des années 2000, la recherche agronomique française sur bananiers (Cirad), déjà très présente aux Antilles françaises, s'était engagée dans une démarche volontariste et anticipatrice destinée à élaborer des référentiels et des paquets techniques raisonnés à l'intention des producteurs. Ces paquets techniques étaient basés sur le raisonnement des pratiques pour limiter le recours systématique aux produits phytosanitaires ou aux engrais minéraux et ainsi en atténuer les impacts environnementaux. C'est ainsi que la recherche a mis au point un référentiel sol-plante pour le pilotage de la fertilisation minérale à partir d'analyses de sol, et une méthode de diagnostic foliaire qui a été utilisée dès la fin des années 1980. L'avertissement biologique contre la cercosporiose jaune issu des travaux du Cirad était également à cette période déjà largement pratiqué et permettait de réduire les impacts des fongicides utilisés dans le cadre de la lutte raisonnée contre cette maladie, en limitant le nombre et la quantité de matières actives fongicides à l'hectare (1 kg/ha/an aux Antilles contre 30 à 70 kg/ha/an dans d'autres zones du monde). Le principe de coupler l'assainissement des sols vis-à-vis des nématodes phytoparasites avec l'utilisation de vitroplants sains pour s'affranchir des nématicides avait lui aussi été développé, même si en pratique la majorité des producteurs ne s'était pas encore approprié cet itinéraire technique. De même, des méthodes de diagnostic de l'état des systèmes de culture bananiers étaient au point, ainsi que des méthodes de quantification des populations de bioagresseurs telluriques (nématodes phytoparasites, charançon) ou d'estimation de leurs dommages (cas du charançon). Enfin, la recherche avait également exploré des solutions afin de s'affranchir des fongicides post-récolte employés pour lutter contre les maladies de conservation (anthracnose et pourritures de couronnes). En marketing, il existe des stratégies dites *push* et *pull* qui définissent la façon dont se construisent les innovations. Dans les stratégies *push*, c'est l'invention ou l'innovation qui sont déclenchées par l'offre. À l'inverse, dans les stratégies *pull*, elles sont provoquées par la demande. C'est principalement une stratégie *push* de l'offre de recherche qui était dominante jusque dans les années 2000. Elle s'est traduite par le développement d'un ensemble d'approches diagnostiques, prophylactiques ou raisonnées, qui ne faisaient pas encore pour autant l'objet d'une application coordonnée et intégrée, ou d'une adoption généralisée par les

producteurs.

Un environnement institutionnel favorable à la réduction de l'utilisation des pesticides, et un plan d'innovation ambitieux

Au début des années 2000, les préoccupations environnementales et de développement durable étaient particulièrement fortes au niveau institutionnel en France. 2007 fut ainsi l'année des accords du Grenelle de l'environnement, qui visaient une mobilisation nationale sur le long terme pour l'aménagement et le développement durables. 2008 fut l'année de lancement du plan Écophyto 1 visant à réduire en dix ans de 50 % l'utilisation des pesticides. En toile de fond, depuis plusieurs années, la réglementation française sur les matières actives était devenue de plus en plus drastique, ce qui s'était traduit par le retrait progressif et l'interdiction d'utilisation de nombreuses molécules dont, notamment en bananeraies, plusieurs insecticides et nématicides de synthèse.

Cette tendance allait être renforcée par la suite, à l'échelle européenne, par le règlement (CE) n° 1107/2009 du 21 octobre 2009 qui concerne la mise sur le marché des produits phytosanitaires, en reprecise les modalités d'évaluation et d'autorisation, et décline les critères d'exclusion des substances classées comme particulièrement dangereuses pour la santé humaine et l'environnement.

C'est dans ce contexte qu'un ambitieux plan d'innovations, le plan « Banane durable », a vu le jour à l'initiative concertée de la recherche Cirad, de la filière Banane de Guadeloupe et de Martinique (BGM) dans ses différentes composantes (Union générale des producteurs de bananes de Martinique et de Guadeloupe, Groupements de producteurs de Guadeloupe et de Martinique, Producteurs de bananes de Guadeloupe ou LPG, producteurs de bananes de Martinique ou BanaMart), des Régions de Martinique et de Guadeloupe, des services déconcentrés de l'État (direction de l'Agriculture et de la Forêt), des ministères (dont le ministère de l'Agriculture) et de l'Odeadom (Office de développement de l'économie agricole d'Outre-Mer). Ce plan s'articulait autour d'un double objectif. Sur le plan économique, il visait d'une part à décliner et à mettre en œuvre les conditions pour maintenir à la fois un niveau de production élevé et l'emploi. Pour cela, il ciblait des actions pour améliorer et

moderniser les exploitations bananières et leurs infrastructures attenantes, et des actions pour valoriser et diversifier la filière, en encadrant et en formant les acteurs. Sur le plan environnemental, il visait le développement aux Antilles françaises d'un mode de production alternatif basé sur les concepts de l'agro-écologie. Le plan « Banane durable » a ainsi été le principal moteur de la construction d'une trajectoire d'innovations pour la transition agro-écologique dans les systèmes bananiers des Antilles françaises.

Les pratiques agro-écologiques mises en œuvre sur le terrain

Le passage à des systèmes diversifiés valorisant les plantes de service

Plusieurs pratiques ont permis d'asseoir le lancement de la transition agro-écologique des modes de production de bananes aux Antilles. Ce sont essentiellement des pratiques de prophylaxie culturale, de contrôle biologique ou mécanique des bioagresseurs, de surveillance de ces bioagresseurs à des fins de gestion raisonnée, et aussi de réinjection de biodiversité fonctionnelle dans les systèmes de culture pour y renforcer la fourniture de services écosystémiques. Ces pratiques croisent ainsi des modes de gestion des cultures et des sols et le déploiement d'une biodiversité fonctionnelle dans les systèmes de culture. Sans visée d'exhaustivité, le tableau 6.1 les recense en fonction des objectifs initiaux qui leur étaient assignés.

Développées dans un cadre d'innovation partenariale dans lequel chercheurs, techniciens et producteurs interagissaient, ces pratiques ont d'abord reposé sur des « briques » techniques, plus ou moins spécifiques, qui ont par la suite été agrégées à la lumière des retours d'expériences des différents acteurs impliqués : c'est dans une démarche de co-conception participative des systèmes de culture que s'est développée la transition agro-écologique. Celle-ci ne s'est pas effectuée de manière linéaire au fil de plusieurs étapes successives, mais plutôt par la coexistence de différentes stratégies dans lesquelles la prophylaxie vis-à-vis des nématodes phytoparasites s'est progressivement imposée comme un fil rouge. Les couverts ont d'abord été monospécifiques, c'est-à-dire qu'ils

n'ont employé qu'une seule espèce de plante de service à la fois. Cette espèce (qui pouvait être par exemple *Brachiaria decumbens*, *Neonotonia wightii* ou *Crotalaria* spp.) a dans un premier temps été utilisée en rotation avec la culture bananière. Les couverts assuraient alors l'assainissement nématologique des sols (nématodes parasites du bananier) en s'affranchissant de la jachère spontanée qui comptait des espèces d'adventices hôtes de ces mêmes nématodes. Mais ils contribuaient également à restaurer la fertilité globale des parcelles. Progressivement, ces jachères assainissantes et améliorées allaient remplacer les jachères spontanées. En parallèle, des rotations plus classiques (banane-ananas, et surtout banane - canne à sucre) étaient pratiquées. Puis les couverts végétaux à base de plantes de service ont commencé à être associés aux bananiers, et très vite ce sont des couverts multi-espèces, basés sur un ensemble de plantes de service agencées dans le temps et dans l'espace, qui ont été développés (photo 6.1). De cette façon, un ensemble de services complémentaires pouvaient être simultanément recherchés comme les régulations biologiques de bioagresseurs, la production de biomasse, la réduction de l'érosion, le recyclage d'éléments nutritifs, l'amélioration de l'état structural du sol, ou encore la séquestration du carbone ou la fixation de l'azote atmosphérique.



Photo 6.1. Couvert multi-espèce (*Arachis repens* et *Desmodium ovalifolium*) associé à la banane Cavendish. © Hoa Tran Quoc / Cirad.

Tableau 6.1. Types de pratiques mises en œuvre lors de la transition agro-écologique des systèmes de culture de bananes aux Antilles françaises

	Objectifs			
Pratiques	Gestion des nématodes phytoparasites	Gestion des charançons	Gestion des cercosporioses	Gestion des adventices
	Destruction des anciennes bananeraies, initialement par voie chimique (herbicides) puis par retour à la destruction mécanique, ou pour les petits exploitants par pâturage de bovins. Élimination mécanique systématique des repousses de bananiers, sources potentielles de contamination (nématodes phytoparasites et charançons).		Élimination rapide des bananeraies abandonnées, sources d'inoculum contaminant. Effeuilage sanitaire par	Installation et maintien des systèmes de culture bananière

	<p>Couplage de jachères et de rotations culturales assainissantes à base de plantes de service non hôtes des nématodes endoparasites de la famille des <i>Pratylenchidae</i> (surtout <i>Radopholus similis</i>), avec utilisation de vitroplants sains de bananiers.</p> <p>Fossés d'isolation hydraulique des parcelles assainies.</p>		<p>ablation mécanique des feuilles ou portions de feuilles porteuses de lésions nécrotiques contaminantes.</p>	<p>couver végétale service limiter compter des pa par les advent</p>
	<p>Chez les pépiniéristes fournisseurs de vitroplants sevrés, pose de filtres de 30 µm de maille pour limiter les contaminations des eaux d'irrigation des serres par les nématodes phytoparasites de la famille des <i>Pratylenchidae</i>.</p>		<p>Cette pratique limite la dispersion du champignon causal et la maturation précoce des régimes qu'il provoque. Elle s'intègre plus largement à une stratégie de protection intégrée contre les cercosporioses et qui inclut : des pratiques culturales favorisant un rythme élevé d'émission foliaire pour compenser la perte de surface foliaire due à la maladie ; un système d'avertissement biologique pour limiter les traitements fongicides.</p>	<p>certain hôtes némat phytop des ba Ces pl service en con avec le advent leur ca couvri rapide sol et l effets allélo Install systèm culture banani litières résidu couver plante service mulch divers verts, bagass</p>
		Lors de la destruction		

Contrôle biologique	Déploiement au champ de couvertures végétales à base de crotalaires (principalement <i>Crotalaria retusa</i> , <i>C. spectabilis</i> , <i>C. zanzibarica</i> , <i>C. juncea</i>) aux propriétés nématotoxiques.	des parcelles, piégeage de masse à l'aide de pièges à fosses couplés à une phéromone d'agrégation (sordidine). Disposition des pièges en ceinture des nouvelles parcelles plantées pour prévenir des recontaminations externes. En cours de culture bananière, piégeages de masse à l'aide de pièges à phéromone.		
Réinjection de biodiversité fonctionnelle dans les systèmes de culture bananiers	Développement de couverts multi-espèces et multifonctionnels de plantes de service, pour la plupart non hôtes des principaux nématodes parasites du bananier. Leurs modalités d'installation et de gestion a été précisée. Certaines (comme <i>Paspalum notatum</i>) favorisent les régulations biologiques et améliorent la structure des réseaux trophiques du sol.	Culture de certaines plantes de service (comme l'association <i>Brachiaria decumbens</i> + <i>Cynodon dactylon</i>) pour augmenter l'abondance de certains prédateurs généralistes du charançon (fourmis, perce-oreilles...) et la régulation biologique de celui-ci.		

Contrôle mécanique				Contrôle adventice débroussaillage ou par gyrobrosse à l'aide d'un tracteur équipé d'une lame basse
Surveillance des populations de bioagresseurs	Tests biologiques de suivi de la qualité d'assainissement nématologique des sols d'interculture. Dynamiques intra-racinaires des populations de nématodes phytoparasites. Chez les pépiniéristes fournisseurs de vitroplants, vérification régulière de la qualité sanitaire des plants fournis par analyse nématologique.	Surveillance des populations à l'aide de pièges à sordidine (partenariats privés, Inra, Cirad). Surveillance des dégâts par décortilage du rhizome.	Mise en place d'un observatoire régional de la surveillance de la sensibilité aux fongicides systémiques utilisés dans le cadre de la lutte raisonnée contre les cercosporioses jaune et noire.	

Une démarche de conception de systèmes bananiers à base de plantes de service

La mise en place de ces systèmes bananiers à base de couverts multi-espèces et multifonctionnels de plantes de service a nécessité plusieurs générations de prototypes de systèmes de culture innovants, élaborés pour la plupart dans le cadre participatif et multi-partenarial du plan « Banane durable ». La démarche globale s'est appuyée sur de la co-conception de

novo avec la production de systèmes entrant en rupture avec les systèmes conventionnels, et de prototypage à dire d'experts. Une étape importante a consisté à développer une ingénierie de l'installation des couverts végétaux à base de plantes de service, préalablement à la conception de tout prototype de systèmes de culture. Des boucles d'amélioration issues des retours d'expériences des différentes catégories d'acteurs impliqués (chercheurs, techniciens producteurs) sur les performances agronomiques et environnementales de ces prototypes ont été effectuées en recourant à de la conception pas à pas. Elles ont été alimentées par la définition et l'évaluation en milieu réel de pré-prototypes de systèmes innovants de culture bananière (tests exploratoires de briques d'itinéraires techniques). La figure 6.1 illustre comment les générations de prototypes de systèmes de culture bananiers à base de plantes de service se sont inscrites dans un gradient de complexité et de diversité végétales, avec pour objectif de fournir de multiples services agro-écologiques. L'évaluation de ces systèmes de culture innovants s'est faite initialement, essentiellement sur leurs performances agronomiques et économiques. Elle s'appuie aujourd'hui sur un réseau de fermes Dephy (Démonstration, expérimentation et production de références sur les systèmes économes en phytosanitaires) implantées à la Martinique et à la Guadeloupe, sur la base d'une approche multicritère prenant en compte les dimensions économiques, environnementales mais aussi sociales de la durabilité de ces systèmes innovants (Feschet *et al.*, 2018).

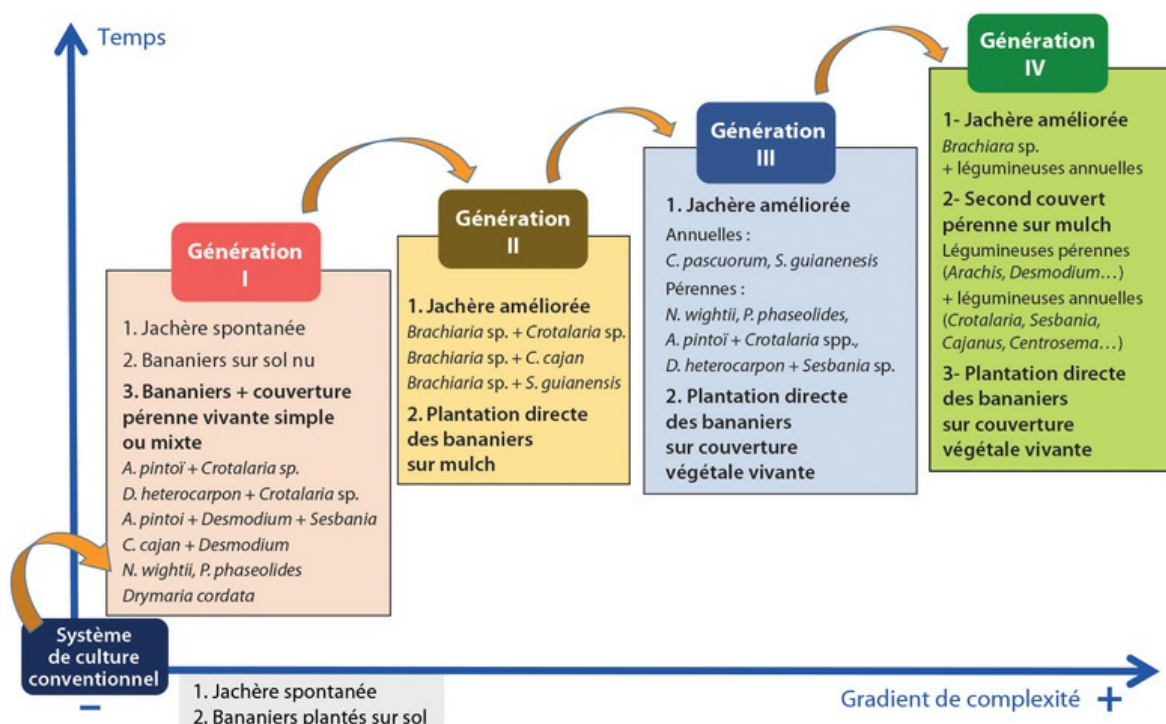


Figure 6.1. Générations successives de prototypes de systèmes de culture innovants de bananiers incluant des couverts multi-espèces et multifonctionnels de plantes de service.

Les résultats dans les systèmes de culture bananiers aux Antilles

Au-delà du maintien du niveau de production à la Martinique et de son accroissement de 50 % à la Guadeloupe, l'un des résultats phares de cette transition agro-écologique est la réduction substantielle de l'utilisation des produits phytosanitaires dans les systèmes de culture bananiers des Antilles. C'est ainsi que, conformément à l'esprit du plan Écophyto 1, la quantité de substances actives (QSA) utilisée entre 2006 et 2015 dans ces systèmes agricoles a été réduite de près de 60 % pour les deux îles, la réduction étant de plus de 30 % entre 2008 et 2011 (fig. 6.2). Si l'on calcule la quantité de substances actives (déterminée par les ventes de produits phytosanitaires aux producteurs de bananes) par hectare et par an, la diminution est également de plus de 50 % entre 2006 et 2015. Sur cette même période, la réduction d'utilisation des nématicides et insecticides a été majeure avec près de 90 % de baisse (et une baisse de moins de 50 % pour les seuls herbicides, la quantité de fongicides ayant pour sa part, dans le même temps, globalement peu varié).

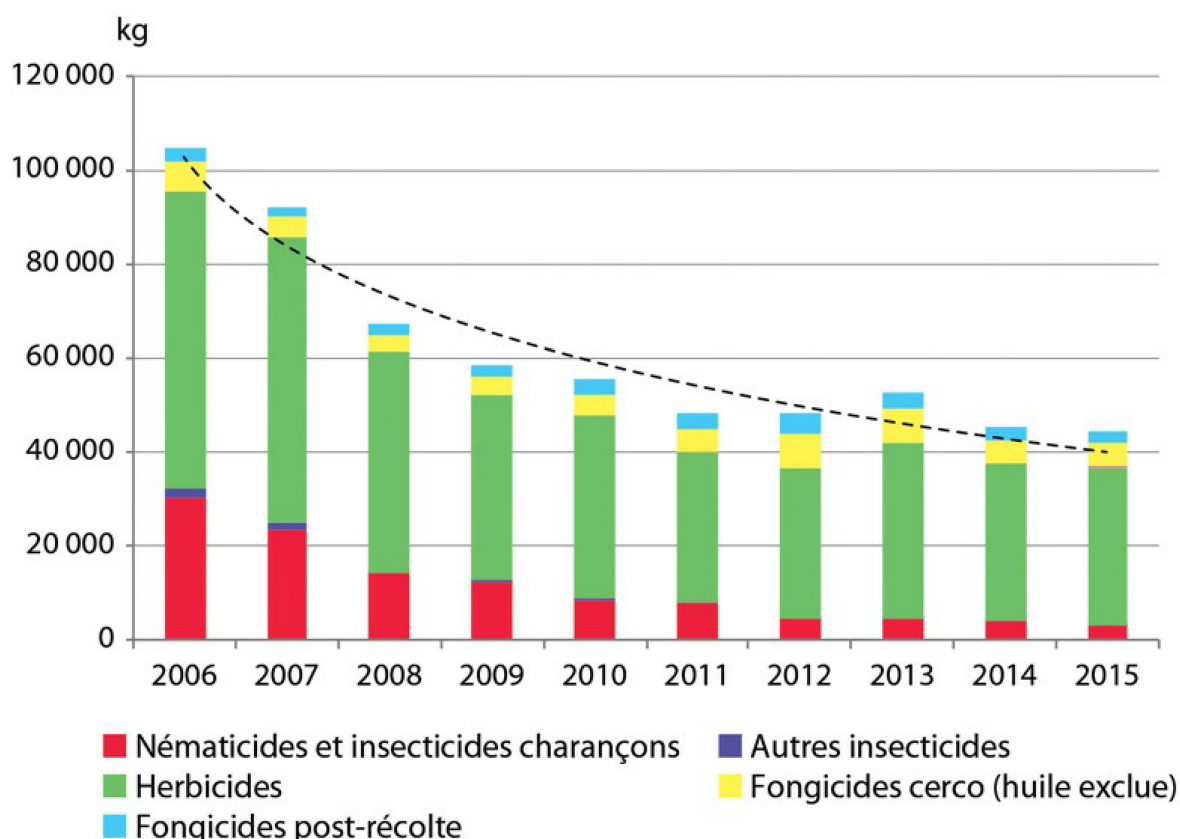


Figure 6.2. Évolution de l'utilisation de pesticides estimée en quantités de substances actives (QSA) dans les systèmes de culture bananiers des Antilles françaises entre 2006 et 2015.

Au final, les producteurs se sont très largement appropriés les pratiques de prophylaxie culturale basées sur le couplage de stratégies d'assainissement des sols vis-à-vis des parasites telluriques avec du matériel de plantation sain (vitroplants). Actuellement, plus de 80 % d'entre eux les emploient. L'utilisation des nématicides est devenue ponctuelle et marginale, les nouvelles méthodes culturales s'étant révélées particulièrement efficaces pour limiter le développement de nématodes endoparasites majeurs tels que *Radopholus similis*. Les insecticides chimiques pour lutter contre le charançon ne sont plus utilisés, les méthodes de contrôle biologique avec les pièges à fosse à sordidine s'y étant substituées en complément de la prophylaxie culturale.

Pour ce qui est des cercosporioses, la stratégie de protection intégrée déjà mise en œuvre et ensuite relayée par une gestion adaptée du stade de récolte, des pratiques d'ablation de fruits, et une utilisation croissante de l'effeuillage sanitaire a permis jusqu'ici de les contrôler, malgré l'arrivée notable de la maladie des raies noires (ou cercosporiose noire) aux Antilles françaises (2010 en Martinique et 2012 en Guadeloupe).

L'adoption des couverts bananiers à base de plantes de service est quant à elle bien amorcée, mais pas encore généralisée. Une enquête est actuellement menée de façon conjointe par le Cirad, l'Institut technique tropical et les groupements de producteurs de bananes des Antilles. Les premiers résultats indiquent qu'environ 15 % des surfaces cultivées en bananes font appel aux plantes de service, mais que la dynamique d'adoption est réelle, notamment dans les plus grandes structures de production.

L'accompagnement par les acteurs techniques et le soutien par les politiques publiques du processus de transfert des innovations

La transition agro-écologique relayée et renforcée par le plan « Banane durable » a déterminé une trajectoire de changements et d'innovations qui dépasse le seul niveau technique. Les changements ont également été structurants au niveau organisationnel, mais aussi partenarial, en renforçant les compétences de l'ensemble des acteurs et la création d'espaces de coordination, pour la construction des innovations et leur diffusion.

Le développement de nouvelles capacités

La création de l'Institut technique tropical

Sous la houlette du Cirad et des professionnels de la filière banane des Antilles, a été créé, en 2008, dans le cadre du plan « Banane durable », l'Institut technique de la banane (ITB), aujourd'hui devenu Institut technique tropical (IT2). Cet institut a été créé pour renforcer les capacités d'innovation de la recherche et des producteurs, et assurer une fonction de transfert qui était alors attendue et portée par la recherche, ainsi qu'une fonction d'appui aux groupements de producteurs pour le changement d'échelle.

L'Institut technique tropical est un partenaire et un relais privilégiés pour la recherche et les producteurs de la filière dans le cadre de la transition

agro-écologique amorcée dans les systèmes de culture bananiers des Antilles françaises. Il s'est doté de capacités propres d'analyse des impacts de la production, et a élargi progressivement ses activités vers le secteur des productions horticoles de la diversification. Il est à ce titre membre des réseaux d'Innovation et de transfert agricole (Rita) des DOM. Doté d'un conseil d'administration et d'un conseil scientifique, il fonctionne avec une équipe opérationnelle d'une douzaine d'ingénieurs en proximité forte avec les professionnels de la filière banane aux Antilles, et est depuis peu membre des instituts techniques agricoles et du réseau des instituts techniques de l'Acta (Association de coordination technique agricole).

Le lancement de deux plateformes collaboratives d'innovation

La transition agro-écologique dans les systèmes bananiers des Antilles françaises s'est également adossée au lancement et à l'action de deux plateformes collaboratives d'innovation élaborées dans le cadre du plan « Banane durable » : une plateforme de systèmes innovants de culture bananière et une plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés.

La plateforme de systèmes innovants de culture bananière est un espace d'échanges où les différentes catégories d'acteurs de la production antillaise de bananes (chercheurs, producteurs, techniciens, groupements...) interagissent pour mettre au point des systèmes de culture afin d'assurer la transition agro-écologique. Son mode de fonctionnement est illustré à la figure 6.3. Sous la direction d'un comité agronomique, les acteurs de cette plateforme définissent le cadre de contraintes d'une production bananière durable, le cahier des charges attendant et un contrat d'objectifs, à partir desquels une démarche de co-conception et d'évaluation de systèmes innovants de bananes est mise en œuvre chez des producteurs pionniers. Cette plateforme a notamment permis la conception des systèmes bananiers à base de couverts multi-espèces et multifonctionnels de plantes de service. Elle travaille en mobilisant en particulier une boîte à outils élaborée par la recherche Cirad, qui comprend principalement une collection de plantes de service, des bases de données sur les traits fonctionnels de ces plantes de service et les services écosystémiques qui y sont associés, des modèles formalisant certaines de ces connaissances (modèles de fonctionnement de la culture, d'évaluation

de plantes de service, de simulation et d'optimisation des pratiques culturales...) (Dorel *et al.*, 2008 ; Tixier *et al.*, 2008 ; Tixier *et al.*, 2011 ; Ripoche *et al.*, 2012). Cette plateforme travaille également à l'évaluation multicritère des systèmes innovants dans le cadre d'un partenariat entre le Cirad et l'Institut technique tropical. Ainsi structurée, elle bénéficie de l'intégration des connaissances et savoir-faire issus de la recherche sur le fonctionnement des systèmes innovants, et de savoirs experts disciplinaires ou relevant de l'ingénierie écologique. Ces dernières années, l'action de la plateforme de systèmes innovants de culture bananière a été renforcée par la création d'une cellule d'appui à l'installation de couverts de plantes de service, où l'Institut technique tropical et le Cirad collaborent avec l'appui de privés pour les travaux de préparation de sols, afin de fournir une assistance et une ingénierie techniques aux producteurs dans l'installation et la gestion de leurs couverts de plantes de service.

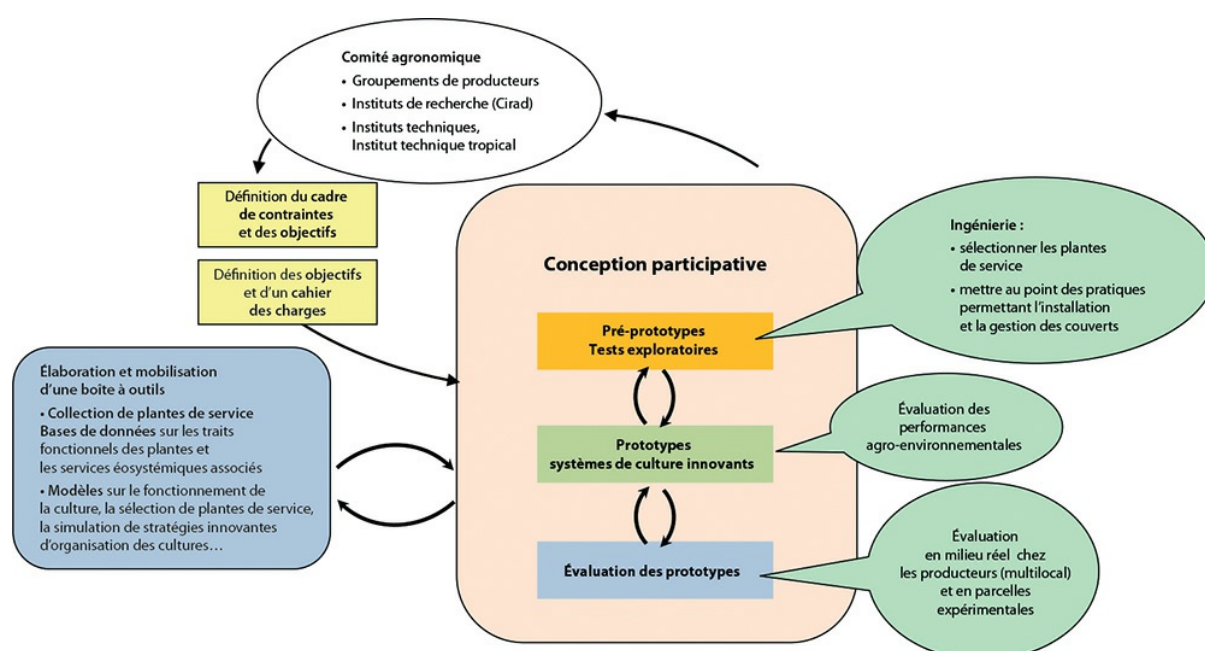


Figure 6.3. Mode d'organisation de la plateforme collaborative des systèmes de culture innovants de bananiers.

Dès son origine, la plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés de bananes a également agi de manière participative pour répondre aux besoins des producteurs et des consommateurs. Son objectif était d'obtenir des variétés tolérantes aux bioagresseurs et particulièrement à la maladie des raies noires, qui soient productives, adaptées aux spécificités de la filière antillaise d'exportation et correspondant aux critères de qualité post-récolte. L'amélioration variétale des bananes est une tâche au long cours mais qui a dès le départ été intégrée aux objectifs du plan « Banane durable » et à ceux de la mise en place de la transition agro-écologique.

Même si les pas de temps de mise au point des nouvelles variétés sont nettement plus longs que ceux de mise au point de nouveaux itinéraires techniques culturels, il a été tout de suite reconnu que ces nouvelles variétés seraient nécessaires à la mise au point d'itinéraires techniques recourant peu ou pas aux pesticides. Dès lors, se doter de capacités d'anticipation (préparer les variétés qui seront utilisées demain) et réfléchir sur le développement de ces variétés en parallèle avec celui des nouveaux systèmes de culture était apparu pertinent dans les choix tactiques et les cibles d'amélioration et de rapidité de mise au point. Mobilisant des chercheurs du Cirad spécialistes de l'amélioration et de la sélection variétales chez les bananiers et des ingénieurs de l'Institut technique tropical en charge du développement variétal, la plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés de bananes a permis, dans le cadre du plan « Banane durable », d'opérationnaliser un outil original d'obtention et de sélection de nouvelles variétés (fig. 6.4). Celui-ci s'est articulé autour de la collection génétique de bananiers du Cirad (l'une des plus grandes du monde, abritée par le Centre de ressources biologiques - Plantes tropicales - des Antilles-Guyane, d'une parcelle de croisements spécialement dédiée à la plateforme, de parcelles de sélection en plein champ sur la station expérimentale de Neufchâteau (Guadeloupe) au Cirad, ainsi que d'un réseau de parcelles d'évaluation installées chez des producteurs pionniers. Structurée autour d'un comité de sélection impliquant les divers acteurs, cette plateforme a bénéficié des apports de différents laboratoires du Cirad sur les Antilles ou à Montpellier (génétique, physiologie, phytopathologie...), ainsi que du réseau aval de transport et de la mûrisserie de l'UGPBAN pour des tests préindustriels en filière des produits sortant de la plateforme. Elle a permis d'optimiser les stratégies de croisements et d'augmenter considérablement le nombre d'hybrides produits annuellement (400 en 2007 contre 800 à 1 000 ces dernières années). Plusieurs séries d'hybrides ont ainsi été créées, mais sans pour autant réunir toutes les qualités attendues et définies dans le cahier des charges de la plateforme. Parmi ceux-ci, une obtention a fait l'objet d'une attention particulière : l'hybride 'Cirad 925'. Celui-ci exprime une résistance partielle à la cercosporiose jaune et à la maladie des raies noires, une faible sensibilité aux nématodes endoparasites *Radopholus similis* et *Pratylenchus coffeae*, et produit des régimes de bonne conformation, avec un retour de cycle rapide. Ses fruits possèdent une qualité gustative comparable à celle de la banane Cavendish. En 2015, une tentative de mise en production de cette variété sur une échelle significative (6 ha) a été tentée par le Cirad, l'Institut technique tropical et quelques producteurs

pionniers. Elle n'avait alors pas pu aboutir, car conduite selon un itinéraire technique conventionnel adapté à la Cavendish. De plus, cette variété s'est révélée bien plus haute que la Cavendish, compliquant ainsi tout particulièrement les opérations culturales de soins aux régimes et les opérations de récolte. Par ailleurs, plusieurs types de contraintes post-récolte non compatibles avec une mise en marché sont également apparues : une sensibilité des fruits à la frisure et à l'éclatement, un décalage de la maturité entre peau et pulpe des fruits, un brunissement de l'épiderme des fruits après exportation. Nous verrons cependant plus bas qu'une nouvelle donne a émergé ces dernières années pour cette variété, avec la levée des principaux verrous techniques restants.

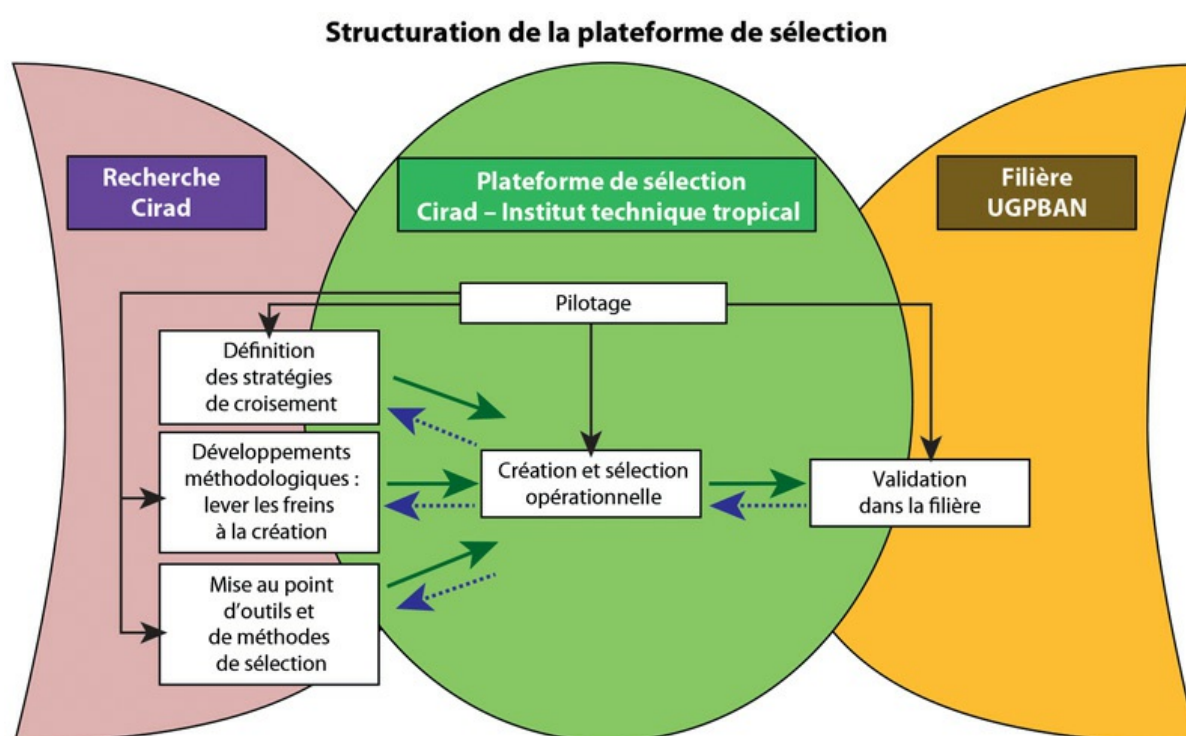


Figure 6.4. Fonctionnement de la plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés (CSNV) de bananes, à l'interface de la recherche et de la filière de production de bananes (UGPBAN).

La place de la recherche dans la transition agro-écologique

Au-delà de son rôle dans le montage du plan « Banane durable » et dans le développement des deux plateformes collaboratives d'innovation et de l'Institut technique tropical, la recherche Cirad sur bananiers s'est aussi

impliquée dans des fronts de recherche propres, susceptibles d'alimenter les innovations du plan « Banane durable » et également de permettre d'anticiper la mise au point de solutions nécessaires à la poursuite de la transition agro-écologique amorcée.

Pour promouvoir l'intensification écologique par les pratiques culturales, des travaux ont d'abord été conduits sur la compréhension du fonctionnement de l'agrosystème bananier, en privilégiant l'étude des mécanismes et des processus biologiques. Les rôles de l'organisation spatiale des systèmes de culture innovants sur les bioagresseurs du bananier ont été étudiés. Les effets de la diversité végétale sur la structuration, la diversité et la stabilité des réseaux trophiques dans les systèmes bananiers ont aussi fait l'objet de recherches afin de mieux comprendre comment s'opèrent les régulations biologiques (Carval *et al.*, 2016 ; Chauvin *et al.*, 2015 ; Mollot *et al.*, 2014 ; Poeydebat *et al.*, 2017a ; Poeydebat *et al.*, 2017b ; Poeydebat *et al.*, 2018). Des approches variées de modélisation ont été mobilisées pour tenter de décrypter les processus impliqués dans ces régulations, et tester l'effet de pratiques culturales de gestion du couvert.

De nouveaux questionnements à l'interface de l'écologie et de l'agronomie ont été traités et continuent de l'être. Les chercheurs se sont par exemple intéressés à une approche basée sur l'observation des traits fonctionnels des plantes (caractéristiques individuelles représentatives du fonctionnement des plantes) qui permet d'expliquer les interactions entre plantes, les fonctions agro-écologiques qu'elles assurent et les services écosystémiques fournis dans les agrosystèmes bananiers (Damour *et al.*, 2015 ; Tardy, 2015). Elle a permis de déterminer les profils fonctionnels des plantes figurant dans la collection de plantes de service de la plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés de bananes du plan « Banane durable » (Damour *et al.*, 2016 ; Tardy *et al.*, 2017). Ces profils fonctionnels ont été confrontés aux profils d'usages identifiés, dans le cadre d'une démarche participative de conception de systèmes de culture incluant les producteurs et l'Institut technique tropical. Ils ont été utilisés pour définir l'arrangement spatio-temporel des plantes de service dans les prototypes de systèmes de culture innovants. Ce type de travaux a facilité la conception de systèmes innovants opérationnels et la définition de recommandations pratiques sur les plantes de service (IT2, 2015).

Mais la recherche Cirad s'est aussi retrouvée à solutionner de nouvelles

contraintes techniques rencontrées chez les producteurs, au fur et à mesure du déploiement des solutions. Les agronomes ont ainsi, à titre d'exemple, su adapter l'itinéraire technique cultural de la variété 'Cirad 925', grâce à une méthode de sélection tardive des rejets successeurs et à une adaptation du recépage (œilletonnage) (Dorel *et al.*, 2016). Par ailleurs, une équipe de physiologistes et de technologues des fruits a intégré la plateforme de création et de sélection de nouvelles variétés de bananes du plan « Banane durable » et s'est attelée à la résolution des problèmes post-récolte qui grevaient la variété 'Cirad 925'. Le problème de la frisure a été résolu par une adaptation de la température de transport à 15 °C (Bugaud *et al.*, 2016 ; Luyckx, 2016), celui de l'éclatement de la peau par une meilleure maîtrise de l'humidité relative dans les cartons de transport (perforation des *polybags*) et par l'utilisation de *flow-packs* (Brat *et al.*, 2016). Quant au décalage de maturation peau-pulpe des fruits, il a pu être solutionné en limitant au maximum l'intervalle de temps entre l'arrivée en entrepôt de stockage et le traitement à l'éthylène des fruits (Luyckx, 2016). Restait le problème du brunissement des fruits après exportation. De nouveaux résultats reposant sur des solutions non chimiques ont récemment été obtenus, et doivent encore être validés par des tests en filière. Des recherches ont également été conduites pour déterminer quelles devraient être les stratégies de déploiement des nouvelles variétés afin de limiter les risques d'adaptation future des bioagresseurs aux nouvelles variétés. Un modèle de simulation pour appuyer la conception de nouvelles méthodes de contrôle de la maladie des raies noires a été développé (Landry *et al.*, 2017). Parallèlement, des travaux sur l'organisation phylogénétique de la diversité, la compréhension de la structure du génome des bananiers, et le déterminisme génétique des caractères d'intérêt agronomiques ont également été conduits en appui à la création variétale (Baurens *et al.*, 2017 ; D'Hont *et al.*, 2012 ; Perrier *et al.*, 2011).

L'appui des politiques publiques

Les niveaux politiques régional et national ont été des acteurs importants de la mise en place du plan « Banane durable ». La volonté de l'État et de l'Europe de réduire l'usage des pesticides s'est traduite par plusieurs éléments. La transition amorcée à la fin des années 1990 et au début des années 2000 s'est accompagnée de la définition et de la mise en œuvre d'outils institutionnels divers comme la Loi d'orientation agricole de 1999 (LOA), des commissions départementales d'orientation agricole (CDOA)

ou encore de mesures incitatives telles que les contrats territoriaux d'exploitation, les contrats d'agriculture durable, et les mesures agro-environnementales, à l'intention des producteurs pour des pratiques plus respectueuses de l'environnement et moins dépendantes des pesticides de synthèse. L'éco-conditionnalité des aides publiques s'est ensuite progressivement renforcée. Des arènes multi-acteurs comme celle du groupe régional d'étude des Pollutions par les produits phytosanitaires ont vu le jour. Dans le même temps, les actions de recherche et de recherche-développement ont pu bénéficier de financements sur fonds européens Docup (Document unique de programmation). En 2008, le lancement du plan « Banane durable », avec le regroupement des aides publiques allouées à la filière banane des Antilles dans le cadre du Poséi (Programme d'options spécifiques à l'éloignement et à l'insularité) et de l'Odeadom, a de nouveau consolidé ces orientations et s'est effectué principalement grâce à des fonds européens (Feader), nationaux et régionaux, avec l'appui des Régions Martinique et Guadeloupe.

Leçons génériques tirées de l'expérience et étapes à venir

Comment mesurer le succès de la transition agro-écologique dans la production de bananes aux Antilles ? Si on se réfère à un indicateur basé sur la réduction de l'utilisation des pesticides ces dernières années et sur la comparaison de ce niveau d'utilisation aux Antilles françaises avec celui d'autres zones de production, la transition agro-écologique est bien en cours. De même, si on prend comme indicateur le niveau d'implication des producteurs, des structures de gouvernance de la filière Banane Guadeloupe Martinique, on note un discours et des actions fortes en faveur d'une nouvelle façon de produire qui traduisent l'engagement de la profession dans cette voie agro-écologique.

Pour certains cependant, le plan « Banane durable » et la transition agro-écologique qui lui est associée ont été l'opportunité pour la filière de rebondir après la crise de la chlordécone, en maintenant un niveau élevé de subventions et en captant les aides diverses liées au statut de territoires ultrapériphériques, et ce au détriment de productions alimentaires importées en Guadeloupe et Martinique, alors qu'elles pourraient être produites sur place. La posture de la recherche nous conduit à ne pas rejeter *a priori* ces remarques et interrogations. C'est pourquoi nous avons

effectué l'analyse des succès et des échecs du Plan « Banane durable » sur la base de données factuelles et avec une prise de recul « temporel » sur la trajectoire de la transition agro-écologique, cette dernière ne pouvant être restreinte à la seule durée d'un plan de développement comme le Plan « Banane durable ». Nous soulignerons ici les étapes qui nous semblent devoir être renforcées pour consolider cette transition agro-écologique des productions de bananes de Martinique et Guadeloupe.

La nécessité d'une évaluation multicritère des systèmes bananiers innovants associés à la transition agro-écologique

Le plan « Banane durable » a fait l'objet d'évaluations régulières par différentes instances pilotées par les ministères et les bailleurs en général. Au-delà du travail de ces instances qui a permis un cadrage régulier de l'activité, il apparaît que l'évaluation des performances agro-environnementales et socio-économiques des nouveaux systèmes de culture érigés pour la transition agro-écologique, et celle de leurs impacts, est également une étape incontournable à renforcer. Elle doit prendre en compte les différentes échelles d'intervention et de perception des acteurs (parcelle, exploitation, bassin versant, région, territoire). Elle nécessite la définition d'outils appropriés (cadres conceptuels des relations pratiques - impacts, méthodes, indicateurs, modèles...) (Feschet *et al.*, 2018 ; Lairez *et al.*, 2015). Elle doit également s'appuyer sur des dispositifs d'acquisition de données agro-environnementales renforcés (bilans d'utilisation d'intrants exogènes de synthèse dans les sols et l'eau, biodiversité...) et socio-économiques (coûts de production, emploi, pénibilité des tâches, nouveaux métiers...). Il existe déjà aux Antilles des dispositifs de ce type qui ont commencé ce type de surveillance dans le cadre de projets financés sur fonds européens (projets Rivage, sur fonds Feder, phase 2 du plan « Banane durable »). Il faudrait qu'ils puissent devenir des véritables sites de référence labellisés de la transition agro-écologique permettant d'objectiver la valeur ajoutée environnementale, économique et sociale de cette transition.

Des réévaluations régulières du cadre de contraintes pour asseoir la dynamique d'innovations agro-

écologiques

La transition agro-écologique des systèmes bananiers aux Antilles est un phénomène qui se décline sur un pas de temps long, et qui par conséquent suppose un réexamen régulier du cadre de contraintes de la production.

Lors du lancement du plan « Banane durable » en 2008, la maladie des raies noires n'était pas encore arrivée aux Antilles. Maladie fongique aérienne aux effets plus marqués que la cercosporiose jaune, elle a été détectée à la Martinique en 2010, et en 2012 à la Guadeloupe. Dans le même temps, les années 2012 et 2013 ont été marquées par l'interdiction du traitement aérien pratiqué avec les fongicides systémiques utilisés dans le cadre de la lutte raisonnée par avertissement. Ces éléments montrent à quel point le contexte peut changer rapidement (dans ses diverses dimensions législatives, techniques, sociales...) et pourquoi il est nécessaire de réévaluer périodiquement le cadre de contraintes de la transition agro-écologique. Il s'agit de s'assurer ainsi du maintien de l'opérationnalité du cahier des charges de celle-ci. Dans le cas des cercosporioses aux Antilles, la situation revêt un caractère d'urgence d'autant plus marqué que de nouvelles restrictions de la législation sur les seuls fongicides curatifs de la lutte raisonnée sont annoncées à très court terme (fin 2018 - début 2019). Cela impose aux acteurs techniques, aux producteurs et à la recherche de repenser complètement la lutte raisonnée contre les cercosporioses en optimisant les techniques et l'organisation des effeuillages sanitaires, et en liant pré- et post-récolte de manière intégrée pour espérer réduire leurs effets et impacts. Un éclairage nouveau est ainsi donné sur l'importance de mobiliser sur le court terme l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeurs (des producteurs aux distributeurs), et sur l'intérêt qu'il y aurait à promouvoir une variété résistante à la maladie des raies noires, compatible avec les exigences de l'export, et qui même si elle n'est pas amenée à remplacer complètement la banane Cavendish, pourrait aider à maîtriser durablement la maladie, particulièrement dans les zones de fortes pressions sanitaires.

Le besoin d'un cadre élargi de partage des objectifs et du déploiement de la transition agro-écologique

Nous avons vu que l'adoption des systèmes de culture bananiers à base de plantes de service n'était encore que partielle. Une meilleure

compréhension des déterminants de l'adoption de ces systèmes est encore nécessaire pour espérer une généralisation de la conversion agro-écologique. Cette montée en puissance doit être tournée à la fois vers un large déploiement des innovations à l'ensemble des producteurs, et vers d'autres acteurs que ceux de la production.

Sur un plan quantitatif, il reste encore à organiser les modalités d'un transfert plus large des innovations et des solutions alternatives co-développées par les acteurs. Ce transfert doit se poursuivre sur un mode participatif et interactif entre producteurs, recherche et techniciens, appuyé par le relais démultiplicateur offert par la formation aux innovations co-construites et les institutions. Les deux plateformes collaboratives, l'Institut technique tropical, la cellule d'appui à l'installation des couvertures végétales sont autant d'outils essentiels à la réalisation de cet objectif. Si la structuration d'un plan d'action qui s'appuyait sur la filière et les acteurs de la production est apparue comme logique et portant sans doute le plus de chances de succès, l'élargissement du concept de durabilité vers la filière et les territoires dans lesquels ce plan s'insère devient la nouvelle étape à aborder. Sur un plan qualitatif, pour opérer une montée en puissance, il est nécessaire que s'ouvrent de nouvelles arènes de concertation entre les différentes catégories d'acteurs (producteurs, groupements, instituts techniques, recherche, institutionnels...) avec une implication renforcée de la société civile. Ainsi les objectifs de la transition agro-écologique seront consolidés en commun et par conséquent mieux partagés. Les acteurs « aval » de la chaîne de valeurs comme les distributeurs et les grandes et moyennes surfaces doivent également pouvoir s'approprier ces objectifs et participer aux cahiers des charges attendant, pour qu'une dynamique multi-acteur se structure dans l'espace et dans le temps, en cohérence avec les attentes des consommateurs, et pour que la valorisation des démarches de production trouve sa place dans de nouveaux marchés.

Références

ARS, Ireps, 2016. La pollution par la chlordécone en Martinique, point de situation 2016, 86 p.

Baurens F.C., Martin G., Rouard M., Salmon F., Njembele J.C., Habas R., Ricci S., D'Hont A., 2017. Genome structure and chromosome segregation

in triploid interspecific plantain bananas (AAB) and breeding accessions (AAAB), Résumé, 1 p.

Brat P., Lechaudel M., Segret L., Morillon R., Hubert O., Gros O., Lambert F., Benoit S., Bugaud C., Salmon F., 2016. Post-harvest banana peel splitting as a function of relative humidity storage conditions. *Acta Physiologiae Plantarum*, 38 (10), 16 p.

Bugaud C., Joannès-Dumec C., Louisor J., Tixier P., Salmon F., 2016. Preharvest temperature affects chilling injury in dessert bananas during storage. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96 (7), 2384-2390, <http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.7354> .

Cabidoche Y.-M., Achard R., Cattan P., Clermont Dauphin C., Massat F., Sansoulet J., 2009. Long-term pollution by chlordecone of tropical volcanic soils in the French West Indies: A simple leaching model accounts for current residue. *Environmental Pollution*, 157, 1697-1705.


Carval D., Resmond R., Achard R., Tixier P., 2016. Cover cropping reduces the abundance of the banana weevil *Cosmopolites sordidus* but does not reduce its damage. *Biological Control*, 99, 14-18, <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2016.04.004> .


Chauvin C., Dorel M., Villenave C., Roger-Estrade J., Thuries L., Risède J.M., 2015. Biochemical characteristics of cover crop litter affect the soil food web, organic matter decomposition, and regulation of plant-parasitic nematodes in a banana field soil. *Applied Soil Ecology*, 96, 131-140, <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.07.013> .


Damour G., Garnier E., Navas M.L., Dorel M., Risede J.M., 2015. Using functional traits to assess the services provided by cover plants: A review of potentialities in banana cropping systems. *Advances in Agronomy*, 134, 81-133, <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2015.06.004> .

Damour G., Guerin C., Dorel M., 2016. Leaf area development strategies of cover plants used in banana plantations identified from a set of plant traits. *European Journal of Agronomy*, 74, 103-111, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.12.007> .


Delvaux B., Perrier X., Guyot P., 1990. Diagnostic de la fertilité de systèmes culturaux intensifs en bananeraies à la Martinique. *Fruits*, 45 (3),

D'Hont A., Denœud F., Aury J.-M., Baurens F.-C., Carreel F., Garsmeur O., Noël B., Bocs S., Droc G., Rouard M., Da Silva C., Jabbari K., Cardi C., Poulain J., Souquet M., Labadie K., Jourda C., Lengellé J., Rodier-Goud M., Alberti A., Bernard M., Correa M., Ayyampalayam S., Mckain M.R., Leebens-Mack J., Burgess D., Freeling M., Mbéguié-A-Mbéguié D., Chabannes M., Wicker T., Panaud O., Barbosa J., Hribova E., Heslop H.P., Habas R., Rivallan R., François P., Poirion C., Kilian A., Burthia D., Jenny C., Bakry F., Brown S., Guignon V., Kema G.H.J., Dita M.A., Waalwijk C., Joseph S., Dievart A., Jaillon O., Leclercq J., Argout X., Lyons E., Almeida A., Jeridi M., Dolezel J., Roux N., Risterucci A.-M., Weissenbach J., Ruiz M., Glaszmann J.-C., Quetier F., Yahiaoui N., Wincker P., 2012. The banana (*Musa acuminata*) genome and the evolution of monocotyledonous plants. *Nature*, 488 (7410), 213-217, <http://dx.doi.org/10.1038/nature11241> .

Dorel M., Achard R., Tixier P., 2008. SIMBA-N: Modeling nitrogen dynamics in banana populations in wet tropical climate: Application to fertilization management in the Caribbean. *European Journal of Agronomy*, 29 (1), 38-45, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2008.02.004> .

Dorel M., Damour G., Leclerc N., Lakhia S., Ricci S., Vingadassalon F., Salmon F., 2016. Parent plant vs sucker how can competition for photoassimilate allocation and light acquisition be managed in new banana hybrids? *Field Crops Research*, 198, 70-79, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fcr.2016.08.028> .

Dorel M., Perrier X., 1990. Influence du milieu et des techniques culturales sur la productivité des bananeraies de Guadeloupe. *Fruits*, 45 (3), 237-244.


Feschet P., Lœillet D., Risède J.M., 2018. Multi-criteria assessment of innovative cropping systems in French West Indies. In : *Proceedings of the Xth International Symposium on Banana: ISHS-ProMusa Symposium on Agroecological Approaches to Promote Innovative Banana Production Systems* (I. Van den Bergh, J.-M. Risède, V. Johnson, eds), ISHS, Louvain, 187-194. *Acta Horticulturae*, 1196, <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2018.1196.23> .


Imbert E., Lœillet D., 2017. *FruiTrop, Focus Banane : Le guide du*

commerce international de la Banane, FruiTrop, 272 p.

IT2, 2015. Petit guide pratique des couverts végétaux : Pistes pour le choix et la conduite d'une couverture végétale compagne ou en rotation. Focus sur la culture de la banane en Guadeloupe et Martinique, 71 p.

Kermarrec B., 1980, Niveau actuel de la contamination des chaînes biologiques en Guadeloupe : Pesticides et métaux lourds, Inra Guadeloupe, ministère de l'Agriculture, 155 p.

Lairez J., Feschet P., Aubin J., Bockstaller C., Bouvarel I., 2015. *Agriculture et développement durable : Guide pour l'évaluation multicritère*, éditions Quæ-Éducagri, Versailles, 232 p., <https://www.dawsonera.com/abstract/9782759224418> .


Landry C., Bonnot F., Ravigné V., Carlier J., Rengifo D., Vaillant J., Abadie C., 2017. A foliar disease simulation model to assist the design of new control methods against black leaf streak disease of banana. *Ecological Modelling*, 359, 383-397, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2017.05.009> .

Luyckx A., Lechaudel M., Hubert O., Gros O., Bugaud C., Benoit S., Leclerc N., Salmon F., Brat P., 2016. Management of post-harvest fruit quality for ecologically intensified banana cropping systems. *Proceedings of the Xth International Symposium on Banana: ISHS-ProMusa Symposium on Agroecological Approaches to Promote Innovative Banana Production Systems* (I. Van den Bergh, J.-M. Risède, V. Johnson, eds), ISHS, Louvain, 79-86.

Luyckx A., Lechaudel M., Hubert O., Salmon F., Brat P., 2016. Banana peel physiological post-harvest disorders: A review. *MOJ Food Processing and Technology*, 3 (1), 7 p.

Mollot G., Duyck P.-F., Lefeuvre P., Lescourret F., Martin J.-F., Piry S., Canard E., Tixier P., 2014. Cover cropping alters the diet of arthropods in a banana plantation: A metabarcoding approach. *PLoS One*, 9, e93740.


Perrier X., De Langhe E., Donohue M., Lentfer C., Vrydaghs L., Bakry F., Carreel F., Hippolyte I., Horry J.P., Jenny C., Lebot V., Risterucci A.M., Tomekpé K., Doutrelepont H., Ball T., Manwaring J., De Maret P., Denham T., 2011. Multidisciplinary perspectives on banana (spp.)


domestication. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108 (28), 11311-11318, <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1102001108> .

Poeydebat C., Carval D., Tixier P., Daribo M.-O., de Lapeyre de Bellaire L., 2018. Ecological regulation of black leaf streak disease driven by plant richness in banana agroecosystems. *Phytopathology*, 108, 1184-1195.

Poeydebat C., Tixier P., Chabrier C., De Lapeyre de Bellaire L., Vargas R., Daribo M.O., Carval D., 2017a. Does plant richness alter multitrophic soil food web and promote plant-parasitic nematode regulation in banana agroecosystems? *Applied Soil Ecology*, 117-118, 137-146.


Poeydebat C., Tixier P., De Lapeyre de Bellaire L., Carval D., 2017b. Plant richness enhances banana weevil regulation in a tropical agroecosystem by affecting a multitrophic food web. *Biological Control*, 114, 125-132.

Ripoche A., Achard R., Laurens A., Tixier P., 2012. Modeling spatial partitioning of light and nitrogen resources in banana cover-cropping systems. *European Journal of Agronomy*, 41, 81-91, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2012.04.001> .

Risède J.M., Simoneau P., 2004. Pathogenic and genetic diversity of soilborne isolates of *Cylindrocladium* from banana cropping systems. *European Journal of Plant Pathology*, 110 (2), 139-154, <http://dx.doi.org/10.1023/B:EJPP.0000015337.54178.c0> .

Risède J.M., Tezenas du Montcel H., 1997. Systèmes monocultureaux bananiers et protection de l'environnement : État des lieux et perspectives. *Fruits*, 52, 225-232.

Snegaroff J., 1977. Les résidus d'insecticides organochlorés dans les sols et les rivières de la région bananière de Guadeloupe. *Phytiatrie-Phytopharmacie*, 26, 251-268.

Tardy F., Damour G., Dorel M., Moreau D., 2017. Trait-based characterisation of soil exploitation strategies of banana, weeds and cover plant species. *PloS One*, 12 (3), e017306, 17 p., <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0173066> .

Tixier P., Lavigne C., Alvarez S., Gauquier A., Blanchard M., Ripoche A., Achard R., 2011. Model evaluation of cover crops, application to eleven species for banana cropping systems. *European Journal of Agronomy*, 34 (1), 53-61.

Tixier P., Malézieux E., Dorel M., Wery J., 2008. Simba, a model for designing sustainable banana-based cropping systems. *Agricultural Systems*, 97 (3), 139-150, <http://dx.doi.org/10.1016/j.agsy.2008.02.003> ☐.

Tardy F., Moreau D., Dorel M., Damour G., 2015. Trait-based characterization of cover plants' light competition strategies for weed control in banana cropping systems in the French West Indies. *Europ. J. Agronomy*, 71 (2015), 10-18, <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2015.08.002> ☐

CHAPITRE 7

Développement de systèmes agro-écologiques horticoles à la Réunion

Jean-Philippe Deguine, Jean-Noël Aubertot, Jean-Charles de Cambiaire, Céline Cresson, M'hand Fares, Guy Lambert, Marlène Marquier, Toulassi Nurbel, Philippe Laurent, Luc Vanhuffel, Didier Vincenot

À la Réunion, l'agriculture occupe une place économique et sociale importante, avec une grande diversité de productions animales et végétales. Les productions végétales majeures sont la canne à sucre et les cultures horticoles. Les principales orientations de l'agriculture réunionnaise sont définies dans le Plan réunionnais de développement durable de l'agriculture et de l'agroalimentaire (Praad), avec deux objectifs essentiels : assurer l'autosuffisance alimentaire, avec notamment l'augmentation de la production locale pour la filière fruits et légumes ; et développer des systèmes de cultures agro-écologiques pour cette filière.